فصل اول

مقدمه و طرح مسأله

* 1. موضوع پژوهش

امروزه، برای مدیریت صحیح انرژی تولید شده و ذخیره سازی آن، از ایده­هایی نظیر مدیریت سمت تقاضا جهت کنترل بهینه توان در سمت مصرف­کننده استفاده شده است .الگوریتمهای بهینه­سازی هوشمند راهکار مناسبی برای حل مسائل مدیریت سمت تقاضا میباشند

رفاه اجتماعی[[1]](#footnote-1) مشترکین به مقدار زیادی به قابلیت اطمینان[[2]](#footnote-2) شبکه برق وابسته است. مقررات جدید در بازار برق همواره قوانین مختلفی را به‌منظور افزایش هم‌زمان قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری از تجهیزات، به شرکت‌های برق معرفی می‌کند. قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع برق[[3]](#footnote-3)، در مقایسه با سیستم‌های تولید و انتقال، به دلیل ارتباط مستقیم آن با رضایت مشتری، از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین، بهبود عملکرد آن باید در برنامه‌های سیستم‌های توزیع برق مورد توجه قرار گیرد. سیاست‌گذاری افزایش شاخص‌های قابلیت اطمینان مشتریان شبکه را می‌توان به‌طورکلی از طریق (الف) کاهش میزان نرخ خرابی[[4]](#footnote-4) و (ب) کاهش زمان قطع برآورده کرد. به­طوری­که نرخ‌های خرابی تجهیزات سیستم‌های توزیع برق را می‌توان با مدیریت تعمیر و نگهداری به‌موقع و کارآمد کاهش داد ، و مدت‌زمان قطع را نیز با نصب سوئیچ‌های کنترل از راه دور[[5]](#footnote-5) می‌توان بهبود بخشید.

در شبکه‌های تجدید ساختاریافته مفاهیم جدیدی مانند سیستم‌های توزیع برق با قابلیت اطمینان بالا و شبکه هوشمند معرفی شده است که هدف آن‌ها افزایش سطح قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع می‌باشد. روند بازیابی خدمات[[6]](#footnote-6) در سال‌های اخیر و به دنبال آن توسعه اتوماسیون در شبکه توزیع از مهم‌ترین تغییرات در ساختار شبکه‌های توزیع فعال[[7]](#footnote-7) می‌باشد.

در این پژوهش یک مدل تصادفی خطی مختلط با عدد صحیح به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع با استفاده از سیستم‌های ذخیره سازی و مدیریت سمت تقاضا سیستم ارائه شده است.

ابزارهای تشخیص قابلیت اطمینان از لحاظ برنامه‌ریزی و مدرنیزاسیون سیستم‌های توزیع توان از اهمیت بالایی برخوردارند. در سال‌های اخیر شاهد توسعه روزافزون انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید توزیع‌شده، ذخیره انرژی، خودروهای برقی، اتوماسیون حفاظت از دستگاه‌ها و طرح‌های پاسخ به تقاضا در شبکه‌های توزیع بوده‌ایم. تمام این تکنولوژی‌ها به نوعی در قابلیت اطمینان شبکه نقش دارند.

* 1. اهميت و ضرورت

شبکه برق سیستم پیچیده‌ای است که در هر لحظه باید عرضه و تقاضای برابری در آن وجود داشته باشد. شبکه باید این توان را داشته باشد که بر اساس تغییراتی که در میزان تقاضا به وجود می‌آید، میزان عرضه‌ی خود را تغییر دهد. این تغییرات تقاضا ممکن است از الگوهایی قابل پیش‌بینی بر اساس رفتار انسان‌ها پیروی کنند یا اینکه دلایلی غیرقابل پیش‌بینی مانند خرابی تجهیزات، داشته باشند. ذخیره‌سازی انرژی نقش مهمی در ایجاد توازن در شبکه‌ی توزیع برق دارد و کمک می‌کند که شبکه‌ای انعطاف‌پذیرتر و قابل اعتمادتر داشته باشیم.

عملکرد سیستم‌های ذخیره‌سازی به این صورت است که در زمان‌هایی که میزان عرضه برق بیشتر از تقاضا است، مازاد تولید را ذخیره می‌کنند و در زمانی که میزان تقاضا از عرضه بیشتر می‌شود، برق ذخیره شده‌ی خود را برای ایجاد تعادل در شبکه عرضه می‌کنند.

پمپ کردن آب به پشت سد در نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای یکی از این روش‌ها است که سال‌ها است مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از ظرفیت اضافی شبکه برای پمپ کردن آب به پشت سد استفاده می‌شود تا در هنگام نیاز این آب توربین‌ها را به حرکت درآورد و به تامین برق در شبکه کمک کند. با ظهور تکنولوژی‌های جدید ذخیره‌سازی انرژی و حرکت جهان به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر که نیاز به ذخیره‌سازی را جدی‌تر می‌کند، نقش کسب‌وکارهای نوآور این حوزه نیز پررنگ‌تر خواهد شد.

چون برخی از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی خروجی متغیری دارند، نیاز است که از تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی برای تعدیل تناوب ناشی از استفاده‌ی این منابع استفاده شود تا تولید و تقاضا مقدار برابری داشته باشند.

سرعت واکنش بالا نیز مزیت دیگر ذخیره‌سازی انرژی است.بیشتر تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی می‌توانند انرژی خود را با سرعت بسیار بالایی به شبکه تزریق کنند در حالی که این امر برای سوخت‌های فسیلی زمان‌بر است. این سرعت واکنش بالا برای حصول اطمینان از ثبات شبکه در زمان وقوع افزایش تقاضای پیش‌بینی نشده، مورد نیاز است.

در برخی موارد طراحی شبکه‌ی توزیع به شکلی است که سطوح دسترسی مختلفی در آن‌ها وجود دارد. به طور مثال ممکن است طوری طراحی شده باشند که تامین برق در مناطق شهری نسبت به روستاها و دیگر مناطق حاشیه‌ای اولویت داشته باشد. همچنین ممکن است برخی مناطق شبکه‌ی محلی داشته باشند و به شبکه‌ی سراسری توزیع برق متصل نباشد، در چنین مواردی نوسانات تاثیر بیشتری بر دسترسی به برق می‌گذارند لذا وجود سیستم‌های ذخیره‌سازی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و می‌تواند از آسیب‌های ناشی از نوسانات برق و یا قطعی آن جلوگیری کند.

اتوماسیون توزیع با پاسخگویی سریع‌تر به وقوع خطا در تجهیزات شبکه توزیع، منجر به بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان می‌گردد. بااین‌وجود، اتوماسیون توزیع نمی‌تواند ظرفیت موجود فیدرهای پشتیبان را در هنگام بازیابی خدمات افزایش دهد. بنابراین، تعدادی از نقاط بار، که در مناطق سالم در پایین‌دست منطقه خطا قرار دارند، قطع خواهد شد. از طرف دیگر، شبکه‌های هوشمند طیف گسترده‌ای از منابع تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره انرژی را با هم ادغام کنند که می‌توانند در فرآیند بازیابی خدمات مؤثر باشند. درواقع، منابع تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره‌سازی[[8]](#footnote-8) می‌توانند در طی فرایند بازیابی خدمات برای افزایش سطح قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع برق، از طریق بازی در نقش واحدهای پشتیبان برای نقاط بار سالم، مورد استفاده قرار گیرند. در این شرایط، ادغام سیستم ذخیره‌سازی در شبکه توزیع نه‌تنها منجر به بهبود قابلیت اطمینان سیستم از طریق افزایش انعطاف‌پذیری و کنترل‌پذیری می‌شود، بلکه باعث کاهش کل هزینه عملیاتی شبکه توزیع خواهد شد.

مهمترین اهمیت تحقیق بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان با توجه به وجود قطعیت در سیستم‌های توزیع ، در نظرگیری تأثیر تجهیزات مختلف سیستم توزیع به‌منظور کاهش تأثیر نرخ خرابی تجهیزات بر روی کیفیت توان تحویل داده شده به مشترکین و افزایش تأثیر حضور سیستم‌های ذخیره‌سازی با توجه به کنترل‌پذیر بودن بخشی از بار مصرف‌کنندگان می­باشد.

* 1. بيان مسأله

در مدل پیشنهادی، سیستم‌های ذخیره‌سازی مستقر در فیدر خراب و فیدر (های) پشتیبان به‌صورت هماهنگ برای انجام بیشترین بازیابی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، به‌منظور مدل کردن عدم قطعیت[[9]](#footnote-9) در روند بازیابی، چندین سناریو برای نحوه ارائه خدمات در نظر گرفته خواهد شد. این عدم قطعیت می‌تواند شامل عدم قطعیت سطح بار، قیمت برق و همچنین عدم قطعیت در میزان انرژی موجود در سیستم‌های ذخیره‌سازی باشد. مدل ارائه شده در این پژوهش چندهدفه می‌باشد. اهداف در نظر گرفته شده شامل شاخص مدت‌زمان متوسط وقفه در سیستم[[10]](#footnote-10)، شاخص فرکانس متوسط وقفه در سیستم[[11]](#footnote-11) و هزینه کل قابلیت اطمینان[[12]](#footnote-12) می‌باشد.

در این شرایط هر دو جنبه اقتصادی و رضایت مشتری در نظر گرفته می‌شود. در مدل پیشنهادی سه ظرفیت مختلف برای سیستم‌های ذخیره‌سازی در نظر گرفته می­شود که نرخ شارژ / دشارژ مختلفی دارند. همچنین، دو نوع خدمات جانبی برای سیستم‌های ذخیره‌سازی در نظر گرفته می‌شود: الف) به‌عنوان یک واحد پشتیبان برای نقاط بار در منطقه خطا، ب) به‌عنوان یک واحد متعادل‌کننده انرژی در مسیر تغذیه. با توجه به اهمیت افزایش انعطاف‌پذیری سیستم در شرایط بروز خطا، در مدل پیشنهادی ،علاوه بر سیستم‌های ذخیره‌سازی، از سیستم پاسخ تقاضا[[13]](#footnote-13) و برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا[[14]](#footnote-14) استفاده خواهد شد. این امر باعث می‌شود که بارهای سالمی که در مناطق پایین‌دست خطا قرار دارند بتوانند با مدیریت مصرف خود بهترین استفاده را از منابع ذخیره‌سازی موجود کرده و با جابجایی بخشی از توان باعث بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان گردند. اثربخشی روش پیشنهادی با استفاده از سیستم آزمایشی استاندارد قابلیت اطمینان RBTS-4[[15]](#footnote-15) بررسی می‌شود.

سیستم های ذخیره ی انرژی با ذخیره کردن انرژی الکتریکی در ساعت های کم باری و فروش انرژی ذخیره شده در ساعت هایی که قیمت برق بالا باشد، علاوه بر کسب سود قابل توجه، به کاهش پیک بار نیز کمک می کنند. همچنین استفاده از سیستم های ذخیره ساز انرژی به عنوان روشی موثر جهت از بین بردن اثرات منفی ماهیت تناوبی و غیر قابل پیش بینی توان تولیدی واحدهای بادی و خورشیدی مطرح می باشد

یکی از مهم ترین سوالات در هنگام نصب ذخیره سازها، تعیین ظرفیت بهینه ی آن ها می باشد. تعیین ظرفیت بهینه ی ذخیره ساز ها جهت نصب در شبکه ها کار دشواری می باشد.

واحد های ذخیره پراکنده، انرژی را در زمان های مازاد برای استفاده بعدی ذخیره می نمایند. این منابع شامل انواع تکنولوژی های باتری، سوپرخازن ها و چرخ های طیار و غیره می باشند. البته ذخیره سازهای خاص مانند ذخیره کننده های حرارتی و ذخیره سازهای الکترومغناطیسی ابررسانا نیز جز این دسته قرار می گیرند. در حال حاضر استفاده از خودروهای الکتریکی نیز به عنوان بخشی از این منابع مورد مطالعه قرار می گیرند.

دو عامل مشخص استفاده از فن آوری ذخیره سازی انرژی وجود دارد یکی مقدار انرژی است که می تواند در دستگاه ذخیره شود و دیگری سرعت انتقال انرژی به داخل و یا خارج دستگاه ذخیره سازی است. این عوامل به طور عمده به ویژگی های خود دستگاه ذخیره سازی بستگی دارد. برخی از انواع فن آوری های ذخیره سازی متداول و در دسترس، که قادر به تسطیح توان نوسانی و حفظ پایداری سیستم می باشند، شامل ابررسانا با ذخیره انرژی مغناطیسی ، چرخ طیار ، باتری، ذخیره انرژی هوای فشرده ، ذخیره سازی پمپ آبی و ابر خازن ها می باشد.

در حالی باتری سرب اسید احتمالاً یکی از انتخاب ها برای همراهی با منابع کوچک تجدید پذیر باشد، به نظر می رسد که در سیستم های ذخیره سازی برای آینده ای نزدیک، فن آوری باتری های جدید درآستانه عملکرد اقتصادی و فنی فراتر از باتری های سرب اسید برای ظرفیت های بزرگ هستند. به عنوان یک نتیجه، این احتمال وجود داردکه در آینده نزدیک رغبت به استفاده ازفن آوری های باتری سرب اسید در تجهیزات ذخیره سازی درمقیاس کوچک بسیار کمتر خواهد بود [48]. با این حال تجزیه وتحلیل و استفاده از باتری های سرب اسید به عنوان مرجع و «پایه» فن آوری های ذخیره سازی الکتروشیمیایی انرژی الکتریکی مهم است و بررسی می گردد. باتری وانادیوم ریداکس شاید امیدوارکننده ترین فن آوری باتری ذخیره برای کاربردهای بزرگ ایستگاهی باتری های نوظهورجریان باشند. باتری های جریان از الکترولیت های مایع استفاده کرده که به وسیله پمپ از طریق یک محفظه مخصوص که شامل یک غشای تبادل یونی، و یا یک آرایه الکترود است عبور کرده و جریان الکتریکی را تولید می نماید. این ساختار تا حدی مشابه سلول های سوختی می باشد.

اگر بخواهیم در ارتباط با ذخیره سازی انرژی صحبت نماییم، باید در ابتدا انواع روش های ذخیره سازی را نام ببریم. این روش ها دارای مزایا و کاربردهای متعددی می باشند و در حقیقت استفاده از هر نوع ذخیره ساز، بسته به نوع شرایط ، مکان استفاده، تابع هدف مورد نظر و قیود فنی حاکم بر سیستم قدرت متفاوت بوده

تکنولوژی‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی با فعالیت در سطوح مختلف شبکه‌ی توزیع، ثبات شبکه در تامین برق مورد نیاز مصرف‌کنندگان را فراهم می‌کنند.

ذخیره‌سازی گرمایی برای تولید برق از خورشید، حتی در زمانی که خورشید نمی‌تابد، استفاده می‌شود. در این روش تابش خورشید در یک نقطه متمرکز می‌شود و از حرارت حاصل برای ذخیره کردن انرژی به صورت گرما در آب، نمک‌های مذاب یا مایعات استفاده می‌شود. این انرژی ذخیره شده بعدا برای تولید برق استفاده می‌شود و زمینه استفاده از انرژی خورشیدی حتی در زمانی که تابشی وجود ندارد را فراهم می‌کند.

تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی گرمایی علاوه بر استفاده در لایه مدیریت شبکه، در اختیار مصرف کنندگان نهایی نیز قرار دارند. یکی از روش‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، منجمدکردن آب در شب و هنگامی است که مصرف برق در حالت حداقلی قرار دارد. می‌توان از این انرژی که به صورت سرما در یخ ذخیره شده است در روز و هنگامی که تقاضای شبکه بالاست برای سرمایش هوا استفاده کرد و بدین صورت از مصرف برق تجهیزات سرمایشی جلوگیری کرد.

از جمله شرکت‌هایی که از این روش استفاده می‌کند می‌توان به Ice Bear اشاره کرد. سیستم توسعه داده شده توسط این شرکت در شب قطعاتی از یخ را می‌سازد و در روز از این قطعات برای فرآیند متراکم‌سازی در سیستم‌های سرمایش استفاده می‌کند. با این روش مصرف برق ساختمان به زمان کم‌باری شبکه منتقل می‌شود و هزینه کمتری را به دنبال خواهد داشت.

ذخیره‌سازی انرژی در هوای فشرده به عنوان یک روش ذخیره تولید انرژی کاربرد دارد چنانکه از هوای فشرده شده در این تکنولوژی برای بهبود عملکرد توربین‌های گازی تولید برق، استفاده می‌شود.

سیستم‌های هوای فشرده در زمان پایین بودن مصرف از برق برای فشرده کردن هوا استفاده می‌کنند و این هوای فشرده شده را در مخازن زیرزمینی ذخیره می‌کنند. در زمان پیک مصرف این هوا از مخازن خارج شده و در توربین‌های حرارتی به همراه گاز طبیعی می‌سوزد تا برق تولید شود. نکته مهم این است که استفاده از این روش میزان مصرف گاز طبیعی در فرآیند تولید برق را به یک سوم می‌رساند و از این طریق صرفه‌جویی ایجاد می‌کند. چون این تکنولوژی نیازمند فضایی برای ذخیره در زیرزمین است از لحاظ دسترسی مکانی برای ایجاد با محدودیت مواجه است. در حال حاضر دو نیروگاه به کمک این تکنولوژی فعالیت می‌کنند که یکی در شهر Huntorf آلمان و دیگری در شهر MacIntosh ایالت آلاباما در آمریکا واقع شده است.

هیدورژن می‌تواند به عنوان یک روش تولید انرژی که تولید کربن نمی‌کند، مورد استفاده قرار بگیرد. می‌توان از برق مازاد برای تولید هیدوژن استفاده کرد و سپس آن را ذخیره کرد تا بعدا در سلول‌های سوختی، موتورها و توربین‌های گازی برای تولید برق مورد استفاده قرار بگیرد.

خیلی از نیروگاه‌های برق آبی از مخازنی در دو ارتفاع مختلف استفاده می‌کنند. این نیروگاه‌ها انرژی را از طریق پمپ کردن آب از سطح پایین به سطح بالاتر در زمانی که برق مازاد وجود دارد، ذخیره می‌کنند. هنگامی که نیاز به تولید برق وجود داشته باشد، آب از سطح بالاتر آزاد می‌شود و در مسیر خود به سطح پایین‌تر با به حرکت درآوردن توربین‌ها برق تولید می‌کند.

در حال حاضر این روش بیشترین استفاده را برای ذخیره‌سازی انرژی دارد چنانکه در ایالات متحده آمریکا ظرفیتی 22 گیگاواتی برای ذخیره‌سازی انرژی از این طریق ایجاد شده است. البته پایین بودن سرعت فرآیند انتقال از سطح پایینی به سطح بالایی و هزینه بالای استفاده از این روش، باعث شده میل به استفاده از آن کمتر شود.

چرخ طیار از طریق ذخیره‌سازی انرژی به صورت یک جرم چرخان، مزایای مختلفی را در شبکه‌ی توزیع به وجود می‌آورد. این دستگاه به شکل یک استوانه ساخته می‌شود و در درون آن یک روتور وجود دارن که پیرامونش خلأ است. در زمانی که مصرف برق پایین است، چرخ طیار از شبکه انرژی می‌گیرد تا به چرخش درآید، در زمانی که مصرف بالا است، روتور وارد حالت تولید می‌شود و رفته رفته سرعت خود را از دست می‌دهد و انرژی که در خود ذخیره کرده است را به شبکه برمی‌گرداند.

چرخ طیار معمولا طول عمر بالایی دارد و نیاز به نگهداری کمی دارد. بهره‌وری و سرعت واکنش بالا از دیگر ویژگی‌های این دستگاه است. با توجه به اینکه می‌توانند هر جایی از شبکه قرار بگیرند، این امکان را دارند که در نزدیک‌ترین نقاط به مصرف کننده نهایی قرار بگیرند و برق مورد نیاز ایشان را تامین کنند.

با توجه به اینکه هر چرخ طیار ظرفیت ذخیره سازی تا چندین کیلووات را داراست، کنار هم قرار دادن آن‌ها در کنار یکدیگر در قالب یک مزرعه چرخ طیار می‌تواند ظرفیتی در حد چندین مگاوات را ایجاد کند. بزرگترین مزرعه چرخ طیار با عنوان Stephentown Flywheel Energy Storage Plant در نیویورک قرار دارد و ظرفیتی برابر با 20 مگاوات را داراست.

باتری‌ها نظیر آنچه در چراغ قوه یا تلفن همره استفاده می‌شود، می‌تواند برای ذخیره‌سازی انرژی در مقیاس بزرگ هم کاربرد داشته باشد.انواع مختلفی از باتری وجود دارد که ظرفیت ذخیره انرژی در مقیاس کلان را دارند. از این دست می‌توان به باتری سودیم-سولفور، لیتیوم-یون و بارتی اسیدی اشاره کرد. مجموعه‌های ذخیره‌سازی حاصل از استفاده این باتری ها ظرفیتی تا چندین مگاوات را فراهم می‌کند چنانکه تا کنون نمونه هایی با ظرفیت حدود 50 مگاوات ایجاد شده است.پیشرفت در تکنولوژی باتری بیشتر به دلیل توسعه‌ی ماشین‌های الکتریکی رخ داده است. برای اینکه ماشین‌های الکتریکی صرفه اقتصادی داشته باشند، لازم است که هزینه‌های مربوط به ساخت باتری کاهش یابد و از طرف دیگر امکان مسافرت‌های طولانی به کمک باتری‌هایی که ظرفیت بالایی دارند، فراهم شود. موضوع دیگری در خصوص باتری‌های مورد استفاده در خودروهای الکتریکی مطرح است، امکان تزریق انرژی ذخیره شده در این باتری‌ها به شبکه در اوقات پیک مصرف است. در واقع با زمان‌صحیح این باتری‌ها می‌توان انتظار داشت که علاوه بر ایجاد امکان مسافرت برای مصرف‌کننده، شبکه هم بتواند از انرژی ذخیره شده در این باتری‌ها برای ایجاد تعادل در پیک مصرف استفاده کند. در جدول1-1مقایسه فنی انواع ذخیره سازهای انرژی نشان داده شده است.

* 1. اهداف

در این پایان نامه اهداف مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است . که اولین آن بررسی تأثیر حضور سیستم‌های ذخیره‌سازی روی شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم توزیع می­باشد. همچنین یکی از اهداف تحلیل تأثیر وجود برنامه‌های پاسخ تقاضا روی شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم توزیع بوده و هدف علمی دیگر آن، در نظرگیری عدم قطعیت در منابع و میزان بار و محاسبه هزینه قابلیت اطمینان در شرایط تصادفی می­باشد.

در این پیان نامه اهداف کاربردی نیز از جمله کاهش هزینه بهره‌برداری با توجه به مکان بهینه سیستم‌های ذخیره‌سازی و افزایش رضایتمندی مصرف‌کنندگان و بررسی شاخص‌های اقتصادی از دید آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته که کاربرد اصلی این اهداف در شرکت‌های توزیع و یا شرکت‌های فعال در زمینه بهره‌برداری از سیستم توزیع می­باشد.

جدول1-1: مقایسه فنی انواع ذخیره سازهای انرژی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| روش ذخیره سازی | بهره وری (راندمان) | مزایا و کاربرد | متوسط طول عمر (سال) |
| آب پمپ شده در دریاچه بالا دست | 75% | ذخیره سازی انرژی در توان بسیار زیاد- مورد نیاز در سیستم های دارای واحد های تولید توان با انرژی هسته ای | 50 |
| ابر خازن | 90% | کنترل فرکانس شبکه سراسری | 10 |
| ابر رسانی مغناطیسی | 95% | توان بالا | 20 |
| باطری NAS | 85% | انرژي و توان بالا برای مواقع بحران همچون سیل و زلزه | 15 |
| هوای فشرده | 50% | ظرفیت بالا، هزینه پایین | 40 |
| چرخ طیار (فلای ویل) | بالاتر از 95% | توان بالا | 20 |

دلیل انتخاب این موضوع ، اهمیت استراتژیک موضوع ذخیره سازی در اقتصاد ،ایجاد رشد و شکوفایی اقتصادی از طریق آربیتراژ انرژِی (خرید و فروش)، همراه شدن این موضوع به عنوان بخش جدای ناپذیر نیروگاه های تجدید پذیر خورشیدی و بادی، میکرو شبکه های الکتریکی ( ریز شبکه منفصل یا متصل به شبکه سراسری) در آینده ای نچندان  دور و  تولید و ایجاد اشتغال پایدار در کنار کاهش تلفات شبکه های سراسری برق در ایران و دیگر نقاط جهان می باشد. به واقع مبحث ذخیره سازی انرژی در بسیاری از کشور های صنعتی موضوع جدید نبوده و سالیان سال توسط کشورهای غربی، اروپایی و آسیایی شرقی درحال انجام می باشد و امروزه این کشورها صادر کننده تلکنولوژی ذخیره سازی می باشند. رشد این تلکنولوژی در سال های قبل با سرعت کندی رو برو می بوده است و سرعت فزاینده و کمک علم الکترونیک به این مبحث، باعث سرعت بخشیدن به استفاده هر چه بیشتر از انواع ذخیره سازهای انرژی در شبکه های برق و سیستم های قدرت امروزی در سراسر دنیا شده است.

* 1. پرسش­ها يا فرضيه‌ها، فرضيات اوليه و محدوديت‌ها

پرسش اصلی این تحقیق این است که در نظر گیری حضور مصرف کنندگان در برنامه ریزی مدیریت انرژی در شرایط رخداد خطا، چه تایری روی مقاومت شبکه و بهبود شرایط بهره برداری خواهد داشت؟ تاثیر فوق با استفاده از مدل های مختلف پاسخ تقاضا چه تغییری می کند؟ همچنین سیستم ذخیره سازی چه تاثیری بر قابلیت اطمینان سیستم توزیع دارد.

فرضیات اولیه در این تحقیق این است که ، مدل‌سازی سیستم ذخیره‌سازی در شبکه باعث کاهش هزینه و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان می‌گردد.همچنین در نظرگیری عدم قطعیت باعث افزایش دقت مدل و نزدیک بودن جواب به مقدار واقعی آن می‌شود.همچنین استفاده از مدل خطی باعث افزایش سرعت حل و امکان اجرای مدل بر روی شبکه‌های مقیاس بزرگ را فراهم می‌کند. و اینکه استفاده از برنامه‌های پاسخ تقاضا باعث افزایش انعطاف‌پذیری بار در شرایط بحرانی می‌گردد. و در نهایت وجود منابع ذخیره‌سازی در بخش تولید و سیستم پاسخ تقاضا در بخش مصرف، تأثیر حضور منابع ذخیره‌سازی را در سیستم افزایش می‌دهد.

محدوديت اصلی ظرفيت قابل استفاده سيستم ذخيره کننده انرژي می باشد. همچنين قيد بعدی محدوديت تبادل انرژي از سيستم ذخيرهساز انرژي به شبكه می باشد

* 1. تعريف اطلاحات و مفاهيم مهم

بهینه‌سازی خطی عدد صحیح ( Integer Linear Optimization) زیر شاخه‌ای از [بهینه‌سازی ریاضی](https://fa.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%A8%D8%B1%D9%86%D8%A7%D9%85%D9%87%E2%80%8C%D8%B1%DB%8C%D8%B2%DB%8C_%D8%B1%DB%8C%D8%A7%D8%B6%DB%8C&action=edit&redlink=1) است که مسایل آن مشابه مسایل [بهینه‌سازی خطی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%B1%D9%86%D8%A7%D9%85%D9%87%E2%80%8C%D8%B1%DB%8C%D8%B2%DB%8C_%D8%AE%D8%B7%DB%8C) است، با این تفاوت که همه یا برخی از متغیر (مجهول)های مسئله [عدد صحیح](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D8%AF%D8%AF_%D8%B5%D8%AD%DB%8C%D8%AD) هستند. همانند [بهینه‌سازی خطی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%B1%D9%86%D8%A7%D9%85%D9%87%E2%80%8C%D8%B1%DB%8C%D8%B2%DB%8C_%D8%AE%D8%B7%DB%8C)، هدف برنامه‌ریزی عدد صحیح پیدا کردن مقدار کمینه یا بیشینه از یک [تابع خطی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%A7%D8%A8%D8%B9_%D8%AE%D8%B7%DB%8C) بر روی فضایی با محدودیت‌هایی خطی است، اما به دلیل وجود متغیرهای گسسته این فضا پیوسته و محدب نیست بلکه فضایی گسسته (در نتیجه نامحدب) است. چنانچه تعدادی از متغیرها به صورت [اعداد صحیح](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%B9%D8%AF%D8%A7%D8%AF_%D8%B5%D8%AD%DB%8C%D8%AD) و بقیه متغیرها به صورت اعداد غیر صحیح بیان شوند، مسئله از نوع بهینه‌سازی خطی ترکیبی ( mixed-integer linear programming)، که به اختصار MILP هم گفته می‌شود، خواهد بود.

بسیاری از مسائل بهینه‌سازی دارای متغیرهای پیوسته و گسسته (اعداد صحیح) که به صورت خطی و تفکیک‌پذیر در قیدهای محدود کننده و تابع هدف ظاهر می‌شوند. در بسیاری از این نوع مسائل، متغیرهای عدد صحیح از نوع متغیرهای صفر و یک (دو دویی) هستند که تمرکز ما بر آنهاست.

بیشترین کاربرد این گونه مسائل در زمینه [تحقیق در عملیات](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%AD%D9%82%DB%8C%D9%82_%D8%AF%D8%B1_%D8%B9%D9%85%D9%84%DB%8C%D8%A7%D8%AA) در مسائل تخصیص، زمان‌بندی و هزینه ثابت شبکه ای مطرح می‌شود. همچنین در زمینه [مهندسی شیمی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%87%D9%86%D8%AF%D8%B3%DB%8C_%D8%B4%DB%8C%D9%85%DB%8C) (فرآیندهای اختلاط، طراحی شبکه‌های انتقال و کنترل) کاربرد این مدل‌سازی بیشتر است. این کاربردها شامل کمترین تعداد جفت در ترکیبات [انتقال گرما](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%AA%D9%82%D8%A7%D9%84_%DA%AF%D8%B1%D9%85%D8%A7)، بهینه‌سازی مصرف انرژی در برج‌های تقطیر، ترکیبات محصولات ستون تقطیر چند منظوره چند مولفه ای، آنالیز انعطاف‌پذیری فرایندهای شیمی، زمان‌بندی دسته‌های ترکیبی و زمینه‌های دیگر می‌باشد.

قابلیت اطمینان سیستم عبارت است از توانایی آن سیستم در انجام وظایف تعیین شده در شرایط محیطی و بهرهبرداری معین و در یک بازه زمانی مشخص. ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم توزیع توسط شاخصهای مربوطه که استاندارد IEEE آنها را معرفی نموده انجام میشود. سه پارامتر اساسی قابلیت اطمینان متوسط نرخ خرابی ، عدم در دسترس بودن سالیانه یا متوسط زمان بیبرقی سالیانه و متوسط زمان بیبرقی میباشند

آنچه مسلم است این است که این پارامترها به تنهایی نمیتوانند تعیین کننده وضعیت و رفتار سیستم باشند. جهت به همین دلیل دستیابی به درک بهتری از رفتار سیستم شاخص ، های متعددی در استاندارد -IEEE-1366 مطرح شدهاند.

شاخص متوسط دفعات قطع برق سیستم ،)شاخص زمان متوسط قطع برق سیستم ، شاخص زمان متوسط قطع برق مشترکین ، شاخص متوسط دسترسی به انرژی برق و شاخص متوسط عدم دسترسی به انرژی برق ،شاخصهایی هستند که به بررسی آنها پرداخته شده است

مدیریت بار، که به عنوان مدیریت طرف تقاضا نیز شناخته می‌شود، فرایند تعادل تأمین برق در شبکه با [بار الکتریکی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%A7%D8%B1_%D8%A7%D9%84%DA%A9%D8%AA%D8%B1%DB%8C%DA%A9%DB%8C) با تنظیم یا کنترل بار به جای خروجی ایستگاه قدرت است. این امر را می‌توان با مداخله مستقیم کاربرد در زمان واقعی، با استفاده از رله‌های حساس به فرکانس (کنترل موج) , با ساعت‌های زمانی، یا با استفاده از تعرفه‌های خاص برای نفوذ بر [رفتار مصرف‌کننده](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B1%D9%81%D8%AA%D8%A7%D8%B1_%D9%85%D8%B5%D8%B1%D9%81%E2%80%8C%DA%A9%D9%86%D9%86%D8%AF%D9%87) به دست آورد. مدیریت بار اجازه می‌دهد که برنامه‌ها ی کاهش تقاضا برای برق را در زمان اوج مصرف کاهش دهند (اصلاح اوج) که می‌تواند به نوبه خود هزینه‌ها را با از بین بردن نیاز به نیروگاه‌های برق قله ای کاهش دهد. به علاوه، برخی از نیروگاه‌های برق قله ای می‌توانند بیش از یک ساعت طول بکشند تا [خط تولید](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D8%B7_%D8%AA%D9%88%D9%84%DB%8C%D8%AF) کنند که مدیریت بار را غیرمنتظره تر می‌کنند برای مثال به‌طور غیرمنتظره از خط خارج شود. مدیریت بار نیز می‌تواند به کاهش انتشار گازهای مضر نیز کمک کند چون نیروگاه‌های اوج یا ژنراتورهای پشتیبان، اغلب کثیف‌تر و کم کارآمدتر از نیروگاه‌های برق بار پایه هستند. فناوری‌های نوین مدیریت بار به‌طور مداوم تحت توسعه هستند - هم توسط صنعت خصوصی و هم نهادهای دولتی مدیریت سمت تقاضا (DSM) یک برنامه مدیریتی مربوط به برنامه ریزی، اجرا وکنترل تمامی فعالیتهای اجرایی است که اثرات مطلوبی بر روی مصرف انرژی الکتریکی گذاشته است و یکی از مهمترین توابع در شبکه هوشمند است که مشترکان به تصمیم گیری آگاهانه در مورد مصرف انرژی الکتریکی اجازه می یابند و به کاهش تولید در تقاضای بار پیک کمک می کند و منحنی بار را تغییر شکل می دهد. این نتایج پایداری شبکه هوشمند را افزایش می دهد، به خوبی هزینه انرژی الکتریکی و آلودگی هوا را کاهش می دهد.

ذخیره انرژی، نگه‌داری از [انرژی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C) برای استفاده در آینده است. دستگاهی که انرژی را ذخیره و انبار می‌کند، گاهی [آکومولاتور](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A2%DA%A9%D9%88%D9%85%D9%88%D9%84%D8%A7%D8%AA%D9%88%D8%B1) خوانده می‌شود. در ذخیره‌سازی انرژی، تبدیل انرژی به شکلی از انرژی که آسان‌تر ذخیره و انبار می‌شود از شکلی که ذخیره کردن آن دشوار است؛ صورت می‌گیرد. انرژی انواع و گونه‌های مختلفی دارد و شکل‌های متعددی داراست. از جملهٔ این انواع، [انرژی شیمیایی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C_%D8%B4%DB%8C%D9%85%DB%8C%D8%A7%DB%8C%DB%8C)، [انرژی گرانشی (حاصل از نیروی گرانش)](https://fa.wikipedia.org/wiki/%DA%AF%D8%B1%D8%A7%D9%86%D8%B4)، [انرژی پتانسیل الکتریکی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C_%D9%BE%D8%AA%D8%A7%D9%86%D8%B3%DB%8C%D9%84_%D8%A7%D9%84%DA%A9%D8%AA%D8%B1%DB%8C%DA%A9%DB%8C)، [انرژی جنبشی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C_%D8%AC%D9%86%D8%A8%D8%B4%DB%8C)، [انرژی آبی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C_%D8%A2%D8%A8%DB%8C)، [انرژی هسته‌ای](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C_%D9%87%D8%B3%D8%AA%D9%87%E2%80%8C%D8%A7%DB%8C) و [گرمای نهان](https://fa.wikipedia.org/wiki/%DA%AF%D8%B1%D9%85%D8%A7%DB%8C_%D9%86%D9%87%D8%A7%D9%86) را می‌توان نام برد. ذخیره انرژی، روش‌ها و شیوه‌های گوناگونی دارد و برای آن از ابزارها و وسایل مختلفی استفاده می‌شود. [پیل خشک](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%DB%8C%D9%84_%D8%AE%D8%B4%DA%A9" \o "پیل خشک)، انواع [باتری](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%A7%D8%AA%D8%B1%DB%8C)، [خازن](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D8%A7%D8%B2%D9%86)، مخزن (تانکر)، [سیلندر](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%DB%8C%D9%84%D9%86%D8%AF%D8%B1)، [سد](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%D8%AF) و بسیاری ابزارها و وسایل دیگر از آن جمله‌اند.

* 1. ساختار پايان­نامه

در این تحقیق موضوع پایان نامه در پنج فصل مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل اول با عنوان مقدمه و طرح مسأله به تعریف موضوع تحقیق و اهمیت و اهداف تحقیق پرداخته شده است. در فصل دوم با عنوان مرور پژوهش‌هاي پيشين به معرفي مسأله و موضوع پژوهش، بررسي سوابق پژوهشي مرتبط با مسأله، ضرورت و دلايل كار پژوهش فعلي در مقايسه با كارهاي قبلي و روش انجام كار پرداخته ایم. در فصل سوم به تشريح موضوع خاص مورد پژوهش و مبناي نظري آن متغيرهاي مورد بررسي، تشريح روش مورد استفاده در پژوهش و دلايل آن جامعه، نمونه و روش نمونه­گيري، معرفي دستگاه و تجهيزات مورد استفاده و ابزار اندازه­گيري متغيرها و داده­برداري، معرفي نرم‌افزار مورد استفاده يا روش مدل‌سازي حل معادلات و الزامات آن و آناليز عدم قطعيت داده­ها خواهیم پرداخت. در فصل چهارم بيان نتايج حاصل و توصيف وضعيت داده ها با توجه به سؤالات پژوهش، مقايسه نتايج حاصل با كارهاي ديگران و ارزيابي محقق و استخراج نتايج كلي مورد بررسی قرار خواهد گرفت.و در نهایت در فصل پنجم به بيان نتايج اصلي حاصل از تحقیق، بيان اهميت نتايج حاصله پرداخته و پيشنهاداتی براي ادامه كار ارائه خواهد شد.

فصل دوم

مرور پژوهش‌هاي پيشين

* مقدمه

هنگام کمبود تامین برق، قابلیت سیستم قدرت با چالش های جدی مواجه می شود که این بخاطر تولید یا خاموشی خطوط انتقال پیشبینی نشده، در طی شرایط آب و هوایی حاد می شود. بهره برداران جهت راهکار جایگزین برای رویکردهای متداول که نیاز به کمک از طرق تولید دارد، می توانند اکنون از منابع طرف تقاضا از طریق یک سری مکانیزم بازار برق استفاده کنند تا توان اکتیو را متوازن سازند و قابلیت اطمینان سیستم را بهبود بخشند. مزیت های پاسخ تقاضا (DR) از خیلی وقت پیش در بسیاری از مقالات و کارهای تجربی، تشخیص داده شده است. اما، تحلیل های نظاممند، هرگز برای ارزیابی ارزش DR مبتنی بر بازار برای حمایت از قابلیت اطمینان سیستم، مورد بررسی قرار نگرفته اند.

از دیر باز به خاطر داریم که وقتی سخن از تولید انرژی الکتریکی به میان می آمد، همواره جمله بعدی و تکمیل کننده این سخن در کتب درسی در سطوح متفاوت، مصرف آنی همان انرژی بود. همچنین در بسیاری از مقالات علمی بیان شده است که انرژی در لحظه تولید باید مصرف گردد. شاید مطرح نمودن این سخن در دهه 60 میلادی حرف صحیحی نبوده است اما هنگامی که در سال 2018 میلادی با پیشرفت های صورت گرفته سخن از تولید و مصرف همزمان انرژی می نماییم، در کنار این موضوع مطرح نمودن مبحث تازه ای به نام ذخیره سازی انرژی و آربیتراژ یا همان فروش انرژی ذخیره شده حائز اهمیت و از لحاظ اقتصادی جذاب باشد. با توجه به رویکرد بشر برای توسعه هر چه بیشتر تکنولوژی و بهبود سطح زندگی، افزایش رفاه، افزایش درآمد ،ایجاد رشد اقتصادی و افزایش تولید و به تبع آن افزایش صادرات ملی، محققان و افراد مرتبط با حوزه انرژی همواره به فکر ذخیره سازی انواع انرژی و استفاده از آن در زمان و مکان مطلوب بوده اند. به واقع عدم اطلاع داشتن از مسائل پیچیده فنی حاکم بر مراحل ذخیره سازی انرژی در گذشته باعث گردیده است تا در دهه های گذشته امکان این امر (ذخیره سازی انرژی) میسر نگردد.

افزایش پیچیدگی‌ شبکه‌های قدرت، افزایش تقاضا و نیاز به قابلیت اطمینان، امنیت و کارآمدی بیشتر و نیز مسائل محیطی‌ و پایداری، نیاز به یک جهش کوانتومی در فراهم کردن تکنولوژی‌های ارتباطات و اطلاعات را برجسته می‌‌سازد. این جهش به سمت یک شبکه ی "هوشمند تر" به طور گسترده، به عنوان "[شبکه هوشمند](https://www.daneshgahi.com/P/tl/tc.aspx?tid=2000088)" یاد می شود. یک چارچوب برای یکپارچه سازی منسجم این تکنولوژی ها، همگرائی استاندارد مورد نیاز فراوان، و اجرای قابلیت‌های تحلیلی ضروری را سهولت می‌‌بخشد.

اتوماسیون توزیع با پاسخگویی سریع‌تر به وقوع خطا در تجهیزات شبکه توزیع، منجر به بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان می‌گردد. بااین‌وجود، اتوماسیون توزیع نمی‌تواند ظرفیت موجود فیدرهای پشتیبان را در هنگام بازیابی خدمات افزایش دهد. بنابراین، تعدادی از نقاط بار، که در مناطق سالم در پایین‌دست منطقه خطا قرار دارند، قطع خواهد شد. از طرف دیگر، شبکه‌های هوشمند طیف گسترده‌ای از منابع تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره انرژی را با هم ادغام کنند که می‌توانند در فرآیند بازیابی خدمات مؤثر باشند. درواقع، منابع تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره‌سازی می‌توانند در طی فرایند بازیابی خدمات برای افزایش سطح قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع برق، از طریق بازی در نقش واحدهای پشتیبان برای نقاط بار سالم، مورد استفاده قرار گیرند. در این شرایط، ادغام سیستم ذخیره‌سازی در شبکه توزیع نه‌تنها منجر به بهبود قابلیت اطمینان سیستم از طریق افزایش انعطاف‌پذیری و کنترل‌پذیری می‌شود، بلکه باعث کاهش کل هزینه عملیاتی شبکه توزیع خواهد شد

بنا به درخواست شرکت برق آلاباما پارادوکس یک سیستم مدیریت بار همراه تکنولوژی [کنترل خودکار](https://fa.wikipedia.org/wiki/%DA%A9%D9%86%D8%AA%D8%B1%D9%84_%D8%AE%D9%88%D8%AF%DA%A9%D8%A7%D8%B1) ایجاد کرد. در انجام این کار، او با استفاده از توانایی سیستم برای نظارت بر سرعت دیسک وات متر قدرت و در نتیجه مصرف توان بهره برد. این اطلاعات همراه با ان زمان به شرکت برق توانایی آموزش فردی برای مدیریت مصرف کنتر آب گرمکن و [تهویه مطبوع](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%87%D9%88%DB%8C%D9%87_%D9%85%D8%B7%D8%A8%D9%88%D8%B9) برای مدیریت جلوگیری از قله در مصرف در ساعات اوج مصرف روز داد. برای این رویکرد به پارادوکس چندین اختراع ثبت شده اهدا شد.

از آنجا که [انرژی الکتریکی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C_%D8%A7%D9%84%DA%A9%D8%AA%D8%B1%DB%8C%DA%A9%DB%8C) شکلی از انرژی است که نمی‌تواند به‌طور مؤثر انبار شود باید بلافاصله تولید، توزیع و مصرف شود. زمانی که بار بر روی یک سیستم نزدیک به حداکثر ظرفیت تولید می‌شود اپراتورهای شبکه باید یا منابع اضافی انرژی را پیدا کنند یا راه‌هایی برای کاهش بارو در نتیجه مدیریت بار پیدا کنند. اگر آن‌ها ناموفق باشند سیستم ناپایدار خواهد شد و خاموشی‌ها می‌توانند رخ دهند.

برنامه‌ریزی بلند مدت مدیریت بار ممکن است با ایجاد مدل‌های پیچیده برای توصیف ویژگی‌های فیزیکی شبکه توزیع (یعنی توپولوژی ظرفیت و دیگر ویژگی‌های خطوط) و همچنین رفتار بار شروع شود. این تجزیه وتحلیل ممکن است شامل سناریوهایی باشد که پیش‌بینی [اب و هوا](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%A8_%D9%88_%D9%87%D9%88%D8%A7)، تأثیر پیش‌بینی شدهٔ دستورهای انبار بار پیشنهادی، تخمین زمان برای تعمیر تجهیزات خط خاموش و عوامل دیگر را حساب کنند.

استفاده از مدیریت بار می‌تواند به یک نیروگاه برق برای به دست آوردن یک فاکتور ظرفیت بالاتر کمک کند، یعنی معیاری برای کاربرد متوسط ظرفیت. ضریب ظرفیت، معیاری است برای اندازه‌گیری خروجی یک نیروگاه برق در مقایسه با حداکثر خروجی که می‌تواند تولید کند. ضریب ظرفیت اغلب به عنوان نسبت بار متوسط به ظرفیت یا نسبت بار متوسط به اوج بار در یک [دوره تناوب](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AF%D9%88%D8%B1%D9%87_%D8%AA%D9%86%D8%A7%D9%88%D8%A8) تعریف می‌شود. فاکتور بار بالاتر سودمند است چون ممکن است یک نیروگاه برق با عوامل بار پایین کارایی کمتری داشته باشد، یک فاکتور بار بالا به معنی هزینه‌های ثابت بر روی بیش از هر [کیلو وات ساعت](https://fa.wikipedia.org/wiki/%DA%A9%DB%8C%D9%84%D9%88_%D9%88%D8%A7%D8%AA_%D8%B3%D8%A7%D8%B9%D8%AA) خروجی (ناشی از قیمت کم‌تر در هر واحد برق) پخش می‌شوند و ضریب بار بالاتر به معنای خروجی کل بیشتر است. اگر فاکتور بار قدرت تحت‌تاثیر در دسترس نبودن سوخت، تعمیر و نگهداری، خرابی برنامه‌ریزی نشده، یا کاهش تقاضا باشد (به عنوان الگوی مصرف در سراسر روز نوسان دارد) , تولید باید تنظیم شود، چرا که ذخیره‌سازی [انرژی شبکه](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C_%D8%B4%D8%A8%DA%A9%D9%87) اغلب بسیار گران‌قیمت است.

برنامه‌های کوچک‌تر که به جای تولید یافته خود، قدرت را خریداری می‌کنند، همچنین می‌توانند از نصب یک [سیستم کنترل](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%DB%8C%D8%B3%D8%AA%D9%85_%DA%A9%D9%86%D8%AA%D8%B1%D9%84) بار نیز بهره‌مند شوند. جریمه‌هایی که باید برای اوج مصرف بپردازند می‌تواند به میزان قابل‌توجهی کاهش یابد. بسیاری از افراد گزارش می‌دهند که یک سیستم کنترل بار می‌تواند در یک فصل به تنهایی هزینه خود را پرداخت کند.

هنگامی که این تصمیم برای کاهش بار اتخاذ می‌شود، براساس [قابلیت اطمینان](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%82%D8%A7%D8%A8%D9%84%DB%8C%D8%AA_%D8%A7%D8%B7%D9%85%DB%8C%D9%86%D8%A7%D9%86) سیستم انجام می‌شود. کاربرد در یک حس " مالک کلید " است و تنها زمانی که ثبات یا قابلیت اطمینان سیستم توزیع برق تهدید می‌شود بارها را تخلیه می‌کند. سودمندی (که در زمینه تولید، انتقال و تحویل برق وجود دارد) در روند کاری آن‌ها بدون دلیل اختلال به وجود نمی‌آورد. مدیریت بار، زمانی که به درستی انجام شود، غیر تهاجمی است و هیچ سختی به مصرف‌کننده تحمیل نمی‌کند. بار باید به ساعت‌های خارج از اوج منتقل شود.

پاسخ تقاضا " سوئیچ روشن خاموش " را در دستان مصرف‌کننده با استفاده از وسایلی مانند یک شبکه هوشمند کنترل شده با سوئیچ کنترل بار می‌گذارد. در حالی که بسیاری از مصرف‌کنندگان مسکونی نرخ ثابتی را در طول سال برق می‌پردازند، هزینه‌های سودمند در واقع به‌طور مداوم بسته به تقاضا، شبکه توزیع و ترکیب سهام [تولید برق](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%88%D9%84%DB%8C%D8%AF_%D8%A8%D8%B1%D9%82) شرکت تفاوت دارد. در یک [بازار آزاد](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%A7%D8%B2%D8%A7%D8%B1_%D8%A2%D8%B2%D8%A7%D8%AF)، قیمت عمده‌فروشی انرژی در طول روز بسیار متفاوت است. برنامه‌های پاسخ تقاضا مانند آن‌هایی که توسط شبکه‌های هوشمند فعال شده‌اند تلاش دارند تا با ایجاد انگیزه مصرف‌کننده را به محدود کردن مصرف براساس نگرانی‌های هزینه محدود کنند. همان‌طور که هزینه در طول روز افزایش می‌یابد (همان‌طور که سیستم به اوج ظرفیت می‌رسد و نیروگاه‌های برق اوج گرانتر مورد استفاده قرار می‌گیرند) , یک [اقتصاد بازار آزاد](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%82%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D8%AF_%D8%A8%D8%A7%D8%B2%D8%A7%D8%B1_%D8%A2%D8%B2%D8%A7%D8%AF) باید اجازه افزایش قیمت را بدهد. طبق کاهش تقاضا برای کالا باید کاهش قیمت داشته باشددر حالی که این کارها برای کمبودها قابل‌پیش‌بینی است، بسیاری از بحران‌ها در عرض چند ثانیه به دلیل شکست‌های ناشی از تجهیزات پیش‌بینی‌نشده به وجود می ایند. آن‌ها باید در همان زمان ـچارچوب حل شوند تا از خاموشی برق جلوگیری کنند. بسیاری از خدمت‌ها که به پاسخ تقاضا علاقه‌مند هستند نیز علاقه خود را به قابلیت کنترل بار نشان داده‌اند تا بتوانند قبل از انتشار به روز رسانی‌های قیمت با مصرف‌کنندگان، " سوئیچ روشن ـ خاموش " را راه‌اندازی کنند.

[برنامه کاربردی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%B1%D9%86%D8%A7%D9%85%D9%87_%DA%A9%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D8%B1%D8%AF%DB%8C) تکنولوژی کنترل بار نیز با فروش هر دو سیستم رادیویی [فرکانس رادیویی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D8%B1%DA%A9%D8%A7%D9%86%D8%B3_%D8%B1%D8%A7%D8%AF%DB%8C%D9%88%DB%8C%DB%8C) و هم سیستم‌های ارتباطی خط نیرو، به رشد خود ادامه می‌دهد. انواع خاصی از سیستم‌های [کنتور هوشمند](https://fa.wikipedia.org/wiki/%DA%A9%D9%86%D8%AA%D9%88%D8%B1_%D9%87%D9%88%D8%B4%D9%85%D9%86%D8%AF) نیز می‌توانند به عنوان [سیستم‌های کنترل](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%DB%8C%D8%B3%D8%AA%D9%85%E2%80%8C%D9%87%D8%A7%DB%8C_%DA%A9%D9%86%D8%AA%D8%B1%D9%84) بار عمل کنند. سیستم‌های کنترل شارژ می‌توانند از شارژ مجدد [وسایل نقلیه](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%88%D8%B3%D8%A7%DB%8C%D9%84_%D9%86%D9%82%D9%84%DB%8C%D9%87) الکتریکی در طول ساعت‌های اوج جلوگیری کنند. سیستم‌های وسایل نقلیه به شبکه می‌توانند الکتریسیته را از باتری‌های وسایل نقلیه الکتریکی به برق برگردانند، یا آن‌ها می‌توانند شارژ مجدد باتری‌های خودرو را به نرخ آهسته‌تر هدایت کنند.

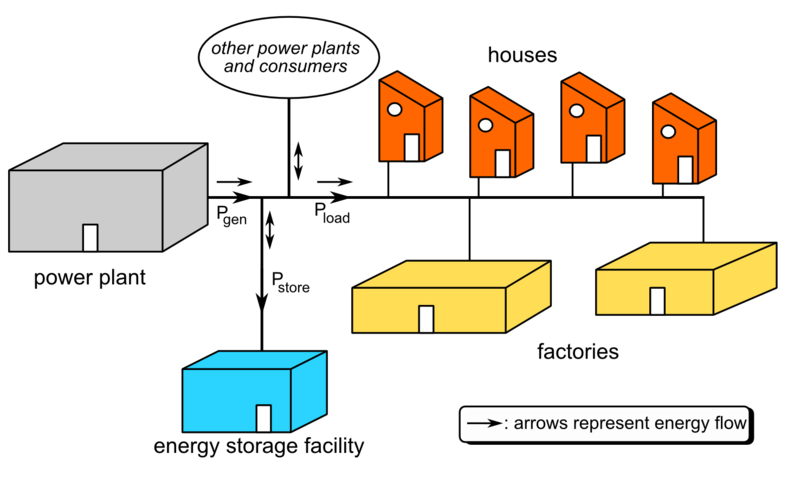
بزرگ‌ترین سیستم کنترل بار مسکونی در جهان در فلوریدا یافت می‌شود.[[۸]](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AF%DB%8C%D8%B1%DB%8C%D8%AA_%D8%A8%D8%A7%D8%B1#cite_note-8) این دستگاه از ۸۰۰٬۰۰۰ فرستنده کنترل بار (LCTs) استفاده می‌کند و ۱۰۰۰ مگاوات [توان الکتریکی](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%88%D8%A7%D9%86_%D8%A7%D9%84%DA%A9%D8%AA%D8%B1%DB%8C%DA%A9%DB%8C) (۲٬۰۰۰ مگاوات در یک وضعیت اضطراری) را کنترل می‌کند. FPL قادر به جلوگیری از ساخت چندین نیروگاه برق جدید با توجه به برنامه‌های مدیریت بار آن‌ها بوده‌است.

تجدید ساختار سیستم قدرت بر بخش‌های مختلف صنعت برق اثر گذاشته و سیستم قدرت را از یک ساختار یکنواخت به بخش‌های جدا از هم تبدیل می‌کند. بازار‌های برق امروزه در حال مواجه با مشکلات بوجود آمده توسط انرژی های تجدید پذیر می‌باشند. تغییرات و غیرقابل پیشبینی بودن انرژی بادی باعث افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و لذا افزایش قیمت نهایی انرژی شده است. این مساله همچنین ضرورت استفاده از تکنولوژی‌های شبکه هوشمند به عنوان یک راه حل در سال‌های اخیر را بیش از پیش بازگو می‌کند. این موضوع باعث استفاده از ذخیره‌سازی انرژی شده است. در مقابل ذخیره‌ساز انرژی که هدف آن جابجایی تولید اضافی به زمان‌های با بار بیشتر بهکمک ذخیره‌سازی است مدیریت سمت بار مطرح می‌شود که هدف آن جابجایی تقاضا به زمان‌های با تولید بیشتر انرژی بادی ارزان قیمت است. مدیریت سمت بار نیازی به تبدیل انرژی از یک شکل به شکل دیگر ندارد. بنابراین ترکیب قابلیت پاسخگویی بار با نوسانات و عدم قطعیت ناشی از انرژی تولیدی توسط باد جهت کاهش هزینه‌های شبکه و افزایش ثبات در تولید به عنوان هدف این تحقیق قابل بحث و بررسی می‌باشد.

ذخیره سازی را می توان با شبکه اصلی و همچنین ژنراتور توزیع و سیستم های پاسخگو به بارها تهیه کرد. مصرف کنندگان در هر یک از بازارهای انرژی و ذخیره با استفاده از برنامه پاسخ به تقاضا های مختلف شرکت می کنند. به منظور تسهیل مشارکت بارهای کوچک و متوسط در برنامه های تقاضا و پاسخ، یک ارائه دهنده پاسخ تقاضا ، پیشنهادات را برای کاهش بار جمع بندی می کند.

* 1. معرفي مسأله و موضوع پژوهش

این تحقیق درباره ی مسئله مدیریت سمت تقاضا (DSM) است زمانی که مشتریان به دستگاه های ذخیره سازی انرژی مجهز باشند.این تحقیق با استفاده از روش برنامه-ریزی خطی همراه با اعداد صحیح استفاده کرده است.در این پژوهش یک مدل تصادفی خطی مختلط با عدد صحیح به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع با استفاده از سیستم‌های ذخیره سازی و مدیریت سمت تقاضا سیستم ارائه شده است. در شکل2-1شبکه برق ساده با ذخیره انرژی و مدیریت سمت تقاضا نشان داده شده است.



شکل2-1: شبکه برق ساده با ذخیره انرژی و مدیریت سمت تقاضا

* 1. بررسي سوابق پژوهشي مرتبط با مسأله

نیسا و توماس (2017) در تحقیقی از نقش پاسخگویی تقاضا در بهره‌برداری در یک ریز‌شبکه خودکار و با در نظر گرفتن عدم قطعیت تعادل بین توان تولیدی و توان مصرفی استفاده کرده‌اند [1]. در این مقاله، پایداری ولتاژ و فرکانس نیز مدنظر قرار گرفته است. ملا‌حسنی‌پور و همکاران (2017) دو شبکه به‌صورت شبکۀ خانگی و شبکۀ مجاور را با در نظر گرفتن برنامۀ پاسخگویی تقاضا ارزیابی کرده‌اند. هدف اصلی در این پژوهش، رضایت‌مندی حداکثری مشتری و تحت پایداربودن شبکه است. برنامۀ پاسخگویی بار تحت اعمال قیود کاری و ایمنی برای جلوگیری از پرداخت هزینه‌های اضافی درخصوص برنامه‌های تعمیراتی در بهره‌برداری از سیستم به کار می‌رود [2].

هاوارد و همکاران (2012) طرحی از پاسخگویی بار چند‌مرحله‌ای و هماهنگی میان آنها را ارائه داده‌اند؛ به نحوی که حداکثر پاسخگویی بار، بیشترین منفعت و سود را داشته باشد. نتایج نشان می‌دهند به‌کارگیری خودروهای برقی در سیستم سطح باردهی سیستم را افزایش می‌دهد [3].

وانگ و پران چاپه (2017) یک سیستم چندمنظوره را برای پاسخگویی بار در ریزشبکه، تحلیل و ارزیابی کرده‌اند. این مدل برای مدیریت انرژی خانگی به‌صورت هوشمندانه‌ای به کار گرفته می‌شود [4]. علیپور و همکاران (2018) از یک مدل برنامه‌ریزی آماری برای بهره‌برداری بهینه تحت پاسخگویی بار استفاده کرده‌اند که در آن هزینه‌های کلی، کاهش یافته است. در این پژوهش، عدم قطعیت بار و قیمت در مدل آماری لحاظ شده‌اند. طبق نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، روش ارائه‌شده در این تحقیق، سبب کاهش هزینه‌های اقتصادی و بهبود شاخص‌های فنی می‌شود [5].

پانوار و همکاران (2017) دربارۀ پاسخگویی بار با برنامه‌ریزی هماهنگ‌شده در ریز‌شبکه کار کرده‌اند. در این مقاله، چندین مقایسه در زمینه‌های فنی و اقتصادی تحت پاسخگویی بار آورده شده است [6]. فنگ و همکاران (2018) ارزیابی برنامۀ پاسخگویی بار را درخصوص ظرفیت منابع تجدیدپذیر در ریزشبکه‌ها بررسی کرده‌ا‌ند. در این پژوهش، یک مدل ترکیبی از قابلیت اطمینان برای پاسخگویی بار با در نظر گرفتن عدم قطعیت و فرآیند بازیابی بار در نظر گرفته شده است [7]. زیمیران و همکاران (2011) در تحقیقی تأثیر شاخص‌های احتمالاتی از منابع انرژی و بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های متعارف را ارزیابی کرده‌اند [8].

در [9] به برنامۀ پاسخگویی تقاضا با در نظر گرفتن عدم قطعیت سرعت باد و تابش خورشید پرداخته و با استفادۀ توابع احتمالی چون تابع ویوبال، میزان سرعت باد و تابش خورشید پیش‌بینی شده است. در این مقاله، سیستم آزمایش‌شده، یک سیستم سه ژنراتور به همراه توربین‌های بادی و نیروگاههای خورشیدی است.

در [10] پخش بار اقتصادی در کشور پاکستان با به‌کارگیری نیروگاههای خورشیدی در شهر اسلام‌آباد ارائه شده است. در این مقاله از پخش بار اقتصادی / زیست‌محیطی برای بهینه‌سازی در شبکه‌ای حاوی 6 نیروگاه حرارتی و 13 نیروگاه خورشیدی استفاده ‌شده است. روش بهینه‌سازی استفاده‌شده در این مقاله، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات باینری است. در این روش از تمام نیروگاههای خورشیدی در طی فرایند بهینه‌سازی استفاده نمی‌شود؛ بلکه تعدادی از آنها به‌صورت تصادفی در ابتدای کار، انتخاب و با توجه به تابع شایستگی، بهترین آنها انتخاب می‌شوند.

در [11] برنامۀ پاسخگویی تقاضا در ریزشبکه، بررسی و نیز مدل‌های ریاضیاتی و راه‌حل‌های مربوط به پخش بار دینامیکی با در نظر گرفتن شبکه‌ای حاوی توربین‌های بادی، سلول‌های خورشیدی، میکرو توربین‌ها، پیل‌های سوختی و دیزل ژنراتورها مطالعه شده‌اند. روش بهینه‌سازی در این مقاله، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهبودیافته و روش مونت‌کارلو است. مطالعات بسیاری در زمینۀ استفاده از منابع تجدیدپذیر در ریزشبکه انجام شده است؛ ازجمله، بهینه‌سازی در ذخیره‌سازی باتری‌ها در ریزشبکۀ مستقل با استفاده از روش ازدحام ذرات که در این مقاله، با استفاده از روش کنترل فرکانس، پایداری شبکه، بهبود بخشیده شد [12].

در مقاله [13] یک روش مدیریت هوشمند برای استفاده از ماشین‌های برقی ارائه شده است. در مقاله [14] تأثیر برنامۀ پاسخگویی تقاضا و نیز مکان‌یابی مناسب منابع تجدیدپذیر روی سرمایه‌گذاری و نیز کاهش تلفات لحاظ شده است. مطالعات زیادی در زمینۀ برنامۀ پاسخگویی تقاضا همراه با ماشین‌های برقی انجام‌ شده است؛ ازجمله، یک مطالعه همراه با در نظر گرفتن محدودیت‌های عملی در مقاله [15].

در مقاله [16] به چگونگی فرمول‌بندی برنامۀ پاسخگویی تقاضا در ریزشبکه پرداخته است. با وجود ارائۀ مقالات متعدد، که به مهم‌ترین آنها اشاره شد، و نظر به فراگیری و پیچیدگی‌های مسئله و دسترسی‌نداشتن به پاسخ بهینۀ مطلق، همچنان مطالعات در این زمینه ادامه دارد.

برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری به‌عنوان بخشی مهمی از اقدامات مدیریتی میان‌مدت در نظر گرفته می‌شود. در حال حاضر حفظ و نوسازی زیرساخت‌های موجود شبکه به‌طورجدی در حال تغییر است ، زیرا انتظار می‌رود در دو دهه آینده با چشم‌پوشی از هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه تعمیر و نگهداری بیشتر از دو برابر افزایش یابد؛ این امر به دلیل قدیمی بودن زیرساخت‌های شبکه می‌باشد [17-18].

بنابراین، مدیریت تعمیر و نگهداری به‌موقع، بر کاهش میزان خرابی تجهیزات تأثیر مستقیم داشته و به‌نوبه خود نرخ خرابی تجهیزات را در طول زمان بهبود می‌بخشد. در این شرایط، با کاهش فرکانس‌های قطع برق، قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع برق افزایش می‌یابد [19-21].

تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان[[16]](#footnote-16) به‌عنوان یکی از استراتژی‌های جالب برای حفظ تعادل در هزینه نگهداری و شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع برق مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان در ابتدا در صنایع تولیدی پیشنهاد و اجرا شد و به دنبال آن پیاده‌سازی‌های موفقیت‌آمیز آن در شبکه‌های برق، به‌عنوان مثال ، نیروگاه‌ها، سیستم‌های انتقال و توزیع انجام شد [22-23].

همچنین، این روش به‌طور خاص در برخی از انواع تجهیزات الکتریکی شامل خطوط انتقال [24-25]، سیستم‌های کابلی [26] و ترانسفورماتورها [27-28] پیاده‌سازی شده است. با تمرکز بر روی سیستم‌های توزیع برق، عوامل کلیدی برای شناسایی زیرساخت‌های مهم سیستم‌های توزیع برق برای اجرای تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان در [29] مشخص شده و لیست تجهیزات مهم در هر دو سطح ولتاژ فشار ضعیف[[17]](#footnote-17) و متوسط[[18]](#footnote-18) ارائه شده است. یک چارچوب جامع برای اجرای عملی تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان شبکه توزیع در [30] و [31] پیشنهاد شده است. اولویت‌بندی نگهداری فیدر های شبکه توزیع در [32-33] بیان شده است. به­طوری­که اجرای الگوریتم پیشنهادی در مقاله فوق با حضور درصد بالایی از منابع تولید پراکنده[[19]](#footnote-19) صورت گرفته است.

به‌طورکلی تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان شامل تجزیه‌وتحلیل هزینه و سود است که در آن برنامه‌های نگهداری اصلاح‌کننده[[20]](#footnote-20) و نگهداری پیشگیرانه[[21]](#footnote-21) به‌طور بهینه به تجهیزات سیستم اختصاص یافته‌اند [34].

اختصاص فواصل زمانی مناسب بین اقدامات نگهداری و شناخت اولویت‌های تجهیزات برای فعالیت‌های نگهداری، همیشه یک چالش مهم در برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع برق برای بودجه‌بندی و تصمیم‌گیری‌های عملیاتی بوده است. تاکنون تحقیقات مختلفی به ارائه ایده‌های جدید برای مقابله با چالش فوق پرداخته‌اند [33-38].

در [36]، از روشی مبتنی بر روند سلسله مراتبی تحلیلی فازی[[22]](#footnote-22) به‌منظور حل مسئله تعمیر و نگهداری چندهدفه (با اهداف قابلیت اطمینان و هزینه) استفاده شده است. روش جدیدی برای بودجه‌بندی تعمیر و نگهداری شرکت‌های توزیع در [37] معرفی شده است که در آن هزینه کل قطع برق از طریق تخصیص بهینه منابع موجود کاهش می‌یابد. در [38]، با حفظ عملکرد مطلوب سیستم از نظر شاخص‌های قابلیت اطمینان، روشی برای به حداقل رساندن هزینه‌های نگهداری شبکه‌های توزیع برق پیشنهاد شده است. یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه در [39] حل شده است که در آن هر دو برنامه نگهداری اصلاح‌کننده و نگهداری پیشگیرانه با توجه به هزینه‌های قطع مشتری و بودجه‌های نگهداری هماهنگ می‌شوند. در [40]، علل حیاتی قطعی از طریق تجزیه‌وتحلیل فازی تعیین می‌شود و در نهایت بودجه تعمیر و نگهداری بر این اساس بهینه می‌شود. یک مدل جدید بر اساس میزان خرابی خطوط هوایی در [41] معرفی شده است. در مقاله فوق تجزیه‌وتحلیل بر روی اصلاح نرخ خرابی با توجه به ساختار شبکه تمرکز شده است. یک مدل مبتنی بر ریسک بر اساس مفهوم درخت تصمیم‌گیری در [42] پیشنهاد شده است. در مدل فوق که یک مدل دقیق و ساده برای مسئله برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری در شبکه توزیع است، از برنامه‌نویسی پویا[[23]](#footnote-23) برای ارزیابی سناریوهای نگهداری بهینه استفاده می‌شود. برای برنامه‌ریزی فعالیت‌های نگهداری در خطوط انتقال هوایی ، یک مدل برنامه‌ریزی مختلط صحیح در [43] ارائه شده است.

عملکرد سریع سیستم توزیع برای شناسایی سریع بروز خطا در شبکه‌های الکتریکی یکی از مسائل مهم درزمینه افزایش قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. وظیفه کلیدهای مقطعی جداسازی سریع مناطق خراب از باقیمانده شبکه می‌باشد. بنابراین، باید تعداد زیادی کلید مقطعی در شبکه وجود داشته باشد تا در موارد احتمالی، بخش­های خراب را جدا کرده و عملکرد سیستم توزیع را ازنقطه‌نظر شاخص‌های قابلیت اطمینان تقویت کنند. استقرار گسترده کلیدهای خودکار، نیاز به سرمایه‌گذاری‌های زیادی دارد. بنابراین، ایجاد یک تعادل بین قابلیت اطمینان سیستم و هزینه‌های اضافی نیاز به بررسی دقیقی دارد [44]. مطالعات مختلفی برای بررسی مکان بهینه کلیدهای خودکار در شبکه توزیع انجام شده است [45-46]. در [45] برای تخصیص بهینه کلیدهای خودکار در شبکه توزیع از الگوریتم جستجوی حریصانه[[24]](#footnote-24) در استفاده شده است. در [46] یک روش بهینه‌سازی جدید برای تصمیم‌گیری در مورد مکان بهینه کلیدهای خودکار با هدف به حداقل رساندن کل هزینه شامل هزینه‌های قطع مشتری، سرمایه‌گذاری‌ها، و همچنین هزینه‌های سالانه بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری مرتبط با کلیدهای خودکار ارائه شده است. تخصیص بهینه کلیدهای دستی و خودکار به‌طور هم‌زمان در [47-48] از طریق تجزیه‌وتحلیل احتمالی استراتژی‌های کنترل در تمام حالات احتمالی در نظر گرفته شده است.

در زمینه استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی برای افزایش انعطاف‌پذیری شبکه، مقالات مختلفی با هدف افزایش سطح قابلیت اطمینان سیستم توزیع از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی استفاده کرده‌اند [49-52]. در [49] یک الگوریتم جدید با توجه به وجود سیستم‌های ذخیره‌سازی و منابع تولید پراکنده برای افزایش بهینه سطح قابلیت اطمینان معرفی شده است.در مقاله فوق شبکه توزیع به تعدادی ریزشبکه[[25]](#footnote-25) تقسیم‌بندی شده و سپس بهینه‌سازی در محدوده هر ریزشبکه صورت می‌گیرد. در [50] ، یک روش مؤثر برای بهبود سطح قابلیت اطمینان شبکه توزیع از طریق اختصاص بهینه انرژی سیستم‌های ذخیره‌سازی به‌عنوان رزرو چرخان و تنظیم‌کننده فرکانس، ارائه شده است. استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی به‌منظور افزایش سطح قابلیت اطمینان و کاهش میزان احتمال از دست دادن بار در [51] مورد بررسی قرار گرفته است. در تمام تحقیقات بررسی شده، سیستم‌های ذخیره‌سازی پیشنهاد شده فقط در بازیابی خدمات به‌عنوان واحدهای پشتیبان برای مشتریان در منطقه خطا در نظر گرفته شده‌اند. بااین‌حال، هیچ‌یک از تحقیقات تأثیر آن بر روی کل هزینه قابلیت اطمینان سیستم را بررسی نمی‌کنند. برای رفع این کمبود، در [52] یک رویکرد ارتقاء قابلیت اطمینان را ارائه می‌دهد که در آن سیستم‌های ذخیره‌سازی برای به حداقل رساندن هزینه کل قابلیت اطمینان سیستم توزیع با در نظر گرفتن حضور منابع تولید پراکنده، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بااین‌حال، فرمول پیشنهادی در [52] یک مسئله برنامه‌نویسی غیرخطی مختلط با عدد صحیح[[26]](#footnote-26) است که به دلیل افزایش بار محاسباتی معمولاً مورد توجه قرار نمی­گیرد.

* 1. ضرورت و دلايل كار پژوهش فعلي در مقايسه با كارهاي قبلي

در این بررسی علاوه بر در نظر گیری تابع هدف هزینه، دو شاخص قابلیت اطمینان شامل شاخص مدت‌زمان متوسط وقفه و شاخص فرکانس متوسط وقفه در سیستم نیز به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شده است.

با توجه به معایب روش جمع وزنی در بهینگی همزمان توابع، در این بررسی علاوه بر روش وزنی از روش فازی برای بهینه­سازی همزمان توابع نیز استفاده شده است.

با توجه به وجود عدم قطعیت در سیستم، در این بررسی از انواع مدل برنامه­های پاسخ تقاضای مبتنی بر بار و مبتنی بر قیمت برای بررسی تاثیر حضور مصرف­کنندگان در برنامه­ریزی استفاده شده است.

* 1. بيان مشخص هدف كار پژوهشي و روش انجام كار

هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر حضور سیستم‌های ذخیره‌سازی و تحلیل تأثیر وجود برنامه‌های پاسخ تقاضا روی شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم توزیع و در نظرگیری عدم قطعیت در منابع و میزان بار و محاسبه هزینه قابلیت اطمینان در شرایط تصادفی می­باشد.

تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از شبیه‌سازی سیستم RBTS-4 در نرم‌افزار GAMS صورت خواهد پذیرفت. نتایج حاصل با نتایج گرفته شده در سایر تحقیقات با استفاده از روش‌های دیگر مقایسه خواهد شد.

ابتدا جهت آشنایی با اصول و مفاهیم پایه شبکه‌های توزیع مقالاتی مورد بررسی قرار خواهد گرفت، سپس با چگونگی به‌کارگیری روش‌های پخش بار در سیستم‌های توزیع و مفهوم کلیدزنیآشنا خواهیم شد و به بررسی روش‌های مختلف کنترل بار و استفاده از سیستم مدیریت سمت تقاضاخواهیم پرداخت.سپس مدل‌سازی و استخراج تابع هدف بر مبنای هزینه و شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم توزیعانجام خواهد شد. از فرمول نویسی خطی مختلط با عدد صحیح جهت مدل‌سازی الگوریتم پیشنهادی در نرم‌افزار GAMS استفاده و شبیه‌سازی مدل پیشنهادی بر روی شبکه تغییر یافته انجام شده و درنهایت به مقایسه نتایج با مقاله مرجع خواهیم پرداخت.

فهرست منابع

[1]   A. Nisar, M. S. Thomas, "Comprehensive control for microgrid autonomous operation with demand response", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 8, No. 5, pp.2081-2089, August 2017.

[2]   M.Pour, M. Rashidinejad, M. Abdollahi, A. Forghani, "Demand Response Resources' Allocation in Security-Constrained Preventive Maintenance Scheduling via MODM Method", IEEE Systems Journal, Vol. 11, No. 2, 1196-1207.

[3] B.Howard,L.Parshal,J.Thompson,S.Hammer,J.Dickinson,V.Modi, "Spatial distribution of urban building energy consumption by end use,Energy and Buildings", Vol. 45, No. 2, 141-151, 2012.

[4] Z. Wang, R. Paranjape, "Optimal residential demand response for multiple heterogeneous homes with real-time price prediction in a multigene framework", IEEE transactions on smart grid, Vol. 8, No. 3,pp. 1173-1184, 2017.

[5]   M. Alipour, K. Zare, M. Abapour, "MINLP probabilistic scheduling model for demand response programs integrated energy hubs", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 14, No. 1, pp. 79-88, 2018.

[6]   L. Panwar, K. Konda, S. R. Verma, A. Panigrahi, B. K. Kumar, "Demand response aggregator coordinated two-stage responsive load scheduling in distribution system considering customer behavior", IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 11, No. 4, pp.1023-1032, 2017.

[7]   J. Feng, B. Zeng, D. Zhao, G Wu,. Z. Liu, J. Zhang, "Evaluating demand response impacts on the capacity credit of renewable distributed generation in smart distribution systems", IEEE Access, Vol. 2, No. 4 pp. 14307-14317, 2018.

[8]   R. Zimmerman, D. Murillo-Sánchez, R. J. Thomas, "MATPOWER: Steady-state operations, planning, and analysis tools for power systems research and education", IEEE Transactions on power systems, Vol. 26, No. 1, pp 12-19,2011.

[9]   N. Ahmed Khan, A. B.Awan, A. Mahmood, "Combined emission economic dispatch of power system including solar photo voltaic generation", International Journal of Electrical Power&Energy Systems, Vol. 12, No. 4, pp.82-91,2015.

[10]  X. Ran, S.Miao, Z. Jiang, H. Xu, "A framework for uncertainty quantification and economic dispatch model with wind–solar energy", International Journal of Electrical Power&Energy Systems, Vol. 2, No. 8, pp.23-33,2015.

[11]  H. Wu, X.Liu, M. Ding, "Dynamic economic dispatch of a microgrid: Mathematical models and solution algorithm",International Journal of Electrical Power&Energy Systems, Vol. 11, No. 9,pp.336-346,2014.

[12]  S. Han, K. Sezaki," Design of an optimal aggregator for vehicle-to-grid regulation service", IEEE Trans Smart Grid, 2010.

[13]  D. Sara, A.S. Masoum, P.S. Moses, M. Masoum," Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile", IEEE Trans Smart Grid, Vol. 5, No. 2, pp.456-461, 2011.

[14]  L. Zhipeng, F. Wen, G. Ledwich ,"Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distribution systems", Power deliver. IEEE Trans, Vol. 3, No. 7, pp.102-112, 2012.

[15]  P. Fernandez, T. Gomez, S .Roman, R. Cossent, C. Domingo, P. Frías ,"Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks. Power systems", IEEE Trans, Vol. 10, No. 6, pp.206-213, 2011.

[16]  M.A Abdelaziz, H.E Farag, E.F El-Saadany, Y. A Mohamed "novel and generalized three-phase power flow algorithm for islanded microgrids using a newton trust region method", IEEE Trans Power Sys, Vol. 2, No. 7, pp.190-201, Feb. 2013.

1. H. L. Willis and R. R. Schrieber, Aging power delivery infrastructures, Second Edition ed.: CRC Press, 2013.
2. J. Schneider, A. J. Gaul, C. Neumann, J. Hograufer, W. Wellbow, M. Schwan, and A. Schnettler, “Asset management techniques,” Elect. Power Energy Syst., vol. 28, pp. 643-654, 2006.
3. R. S. Khuntia, J. L. Rueda, S. Bouwman, and A. M. Meijden, “A literature survey on asset management in electrical power [transmission and distribution] system,” Int. Trans. Electr. Energ. Syst. 2016.
4. L. Bertling, R. Allan, and R. Eriksson, “A reliability-centered asset maintenance method for assessing the impact of maintenance in power distribution systems,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 1, pp.75-82, Feb 2005.
5. R. K. Mobley, An introduction to preventive maintenance, 2nd ed. Boston, MA: Butterworth-Heinemann, 2002.
6. J. Endrenyi, et al, “The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 16, pp. 638-646, 2001.
7. J. Heo, et al, “A reliability-centered approach to an optimal maintenance strategy in transmission systems using a genetic algorithm,” IEEE Trans. Power Del, vol. 26, pp. 2171-2179, 2011.
8. M. E. Beehler, “Reliability centered maintenance for transmission systems,” IEEE Trans. Power Del., vol. 12, no. 2, pp. 1023-1028, Apr. 1997.
9. W. Li and J. Korczynski, “A reliability-based approach to transmission maintenance planning and its application in BC hydro system,” IEEE Trans. Power Del., vol. 19, no. 1, pp. 303-308, Jan. 2004.
10. W. Reder and D. Flaten, “Reliability centered maintenance for distribution underground systems,” IEEE Summer Power Meeting, Seattle, WA, vol. 1, Pp. 16-20, Jul. 2000.
11. S. Costa and A. F. Brandao, “Optimization of the maintenance of oilfilled power transformers based on reliability criteria,” IEEE Transm. Dist. Conf. Expo.: Latin Amer., pp. 297-301, Nov. 2004.
12. H. A. Koksal and A. Ozdemir, “RCAM model for turkish national power transmission system: SF6 circuit breakers, transmission lines, transformer centers and protection relays,” International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 2014.
13. P. Dehghanian, M. Fotuhi-Firuzabad, S. Bagheri-Shouraki, and A. A. R. Kazemi, “Critical component identification in reliability centered asset management of power distribution systems via fuzzy AHP,” IEEE Syst. J, vol. 6, pp. 593-602, Dec. 2012.
14. P. Dehghanian, M. Fotuhi-Firuzabad, F. Aminifar, and R. Billinton, “A comprehensive scheme for reliability centered maintenance in power distribution systems—Part I: Methodology,” IEEE Trans. Power Del., vol. 28, pp. 761-770, 2013.
15. P. Dehghanian, M. Fotuhi-Firuzabad, F. Aminifar, and R. Billinton, “A Comprehensive Scheme for Reliability-Centered Maintenance in Power Distribution Systems—Part II: Numerical Analysis,” IEEE Trans. Power Del., vol.28, no.2, pp.771,778, April 2013.
16. B. Yssaad, M. Khiat, and A. Chaker, “Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 55, pp. 108-115, 2014.
17. R. Arya, “Ranking of feeder sections of distribution systems for maintenance prioritization accounting distributed generations and loads using diagnostic importance factor (DIF),” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 74, pp. 70-77, 2016.
18. L. Bertling, “Reliability centered maintenance for electric power distribution systems,” Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Royal Inst. Tech., Stockholm, Sweden, 2002.
19. M. Khodaei Tehrani, A. Fereidunian and H. Lesani, “Financial planning for the preventive maintenance of power distribution systems via fuzzy AHP,” Complexity, vol. 21, pp. 36-46, Oct. 2014.
20. N. Phoothong, P. Vanittanakom, N. Teera-achariyakul, and D. Rerkpreedapong, “Optimal preventive maintenance budget setting for electric power distribution utilities,” 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology ECTI-CON, 2008.
21. V. Aravinthan and W. Jewell, “Optimized maintenance scheduling for budget-constrained distribution utility,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 4, no. 4, pp. 2328-2338, Dec. 2013.
22. P. Hilber, V. Miranda, and L. Bertling, “Multi objective optimization applied to maintenance policy for electrical networks,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 4, pp. 1675-1682, Nov. 2007.
23. M. Khodaei Tehrani, “Reliability centered maintenance for electric power distribution systems,” M.Sc. Thesis, Univ. of Tehran, Tehran, Iran, 2013.
24. A. Moradkhani, M. R. Haghifam, and M. Mohammadzadeh, “Failure rate modelling of electric distribution overhead lines considering preventive
25. maintenance,” IET Generation, Transmission & Distribution. vol. 8, no. 8, pp. 1028-1038, June. 2014.
26. A. D. Janjic and D. S. Popovic, “Selective maintenance schedule of distri¬bution networks based on risk management approach,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 2, pp. 597-604, May 2007.
27. A. Abiri-Jahromi, M. Fotuhi-Firuzabad, and E. Abbasi, “An efficient mixed-integer linear formulation for long-term overhead lines maintenance scheduling in power distribution systems,” IEEE Trans. Power Del., vol. 24, no. 4, pp. 2043-2053, oct. 2009.
28. A. Shahsavari, A. Fereidunian, A. Ameli, S.M. Mazhari, and H. Lesani, “A healer reinforcement approach to smart distribution grids by improving fault location function in FLISR,” 13th Int. Conf. on Env. and Elect. Eng., Wroclaw, Poland, Aug. 2013.
29. V. Calderaro, V. Lattarulo, A. Piccolo, and P. Siano, “Optimal switch placem-ent by alliance algorithm for improving microgrids reliability,” IEEE Trans. Ind. Informat., vol.8, no.4, pp.925-934, Nov. 2012.
30. A. Abiri-Jahromi, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Parvania, and M. Mosleh, “Optimized sectionalizing switch placement strategy in distribution systems,” IEEETrans. Power Del., vol. 27, no. 1, pp. 362-370, Jan. 2012.
31. A. Shahsavari, A. Fereidunian, and S. M. Mazhari, “A joint automatic and manual switch placement within distribution systems considering operational probabilities of control sequences,” Int. Trans. Electr. Energ. Syst, pp. 2050-7038, 2014.
32. P. M. S. Carvalho, L. A. F. M. Ferreira, and A. J. C. da Silva, “A decomposition approach to optimal remote-controlled switch allocation in distribution systems,” IEEE Trans. Power Del., vol.20, no.2, pp.1031¬1036, Apr. 2005.
33. Hamid Asadi Bagal, et al., Risk-assessment of photovoltaic-wind-battery-grid based large industrial consumer using information gap decision theory, Sol. Energy 169 (2018) 343-352.
34. Amir Ahadi, Noradin Ghadimi, Davar Mirabbasi, Reliability assessment for components of large scale photovoltaic systems, J. Power Sources 264 (2014) 211-219.
35. Gholamreza Aghajani, Noradin Ghadimi, Multi-objective energy management in a micro-grid, Energy Rep. 4 (2018) 218-225.
36. H. Abniki, S.M. Taghvaei, S.M. Mohammadi-Hosseininejad, Reliability improvement in smart grid through incorporating energy storage systems in service restoration, Int. Trans. Electr. Energy Syst. 9 (January (1)) (2018) 1-18 e2661.

1. Social Welfare [↑](#footnote-ref-1)
2. Reliability [↑](#footnote-ref-2)
3. Electricity Distribution Systems (EDS) [↑](#footnote-ref-3)
4. Failure Rate [↑](#footnote-ref-4)
5. Remotely-Controlled Switches (Rcss) [↑](#footnote-ref-5)
6. Service Restoration [↑](#footnote-ref-6)
7. Active Distribution System [↑](#footnote-ref-7)
8. Energy Storage Systems (ESS) [↑](#footnote-ref-8)
9. Uncertainty [↑](#footnote-ref-9)
10. System Average Interruption Duration Index (SAIDI) [↑](#footnote-ref-10)
11. System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) [↑](#footnote-ref-11)
12. Total Reliability Cost (TRC) [↑](#footnote-ref-12)
13. Demand Response (DR) [↑](#footnote-ref-13)
14. Demand Side Management (SDM) [↑](#footnote-ref-14)
15. Roy Billinton Test System (RBTS) [↑](#footnote-ref-15)
16. Reliability-Centered Maintenance (RCM) [↑](#footnote-ref-16)
17. Low Voltage [↑](#footnote-ref-17)
18. Medium Voltage [↑](#footnote-ref-18)
19. Distributed Energy Resources (DER) [↑](#footnote-ref-19)
20. Corrective Maintenance (CM) [↑](#footnote-ref-20)
21. Preventive Maintenance (PM) [↑](#footnote-ref-21)
22. Fuzzy Analytical Hierarchical Process (FAHP) [↑](#footnote-ref-22)
23. Dynamic Programming (DP) [↑](#footnote-ref-23)
24. Greedy Search Algorithm [↑](#footnote-ref-24)
25. Microgrid (MG) [↑](#footnote-ref-25)
26. Mixed-Integer Nonlinear Programming (MINLP) [↑](#footnote-ref-26)